

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-258380

(P2003-258380A)

(43) 公開日 平成15年9月12日 (2003.9.12)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	キーワード (参考)
H 0 1 S 5/183		H 0 1 S 5/183	5 F 0 4 1
H 0 1 L 33/00		H 0 1 L 33/00	A 5 F 0 7 3
			M
H 0 1 S 5/022		H 0 1 S 5/022	

審査請求 未請求 請求項の数24 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2002-55983 (P2002-55983)

(22) 出願日 平成14年3月1日 (2002.3.1)

(71) 出願人 000002369

セイコーエプソン株式会社

東京都新宿区西新宿2丁目4番1号

(72) 発明者 金子 剛

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコ

ーエプソン株式会社内

(74) 代理人 100090479

弁理士 井上 一 (外2名)

Fターム (参考) 5F041 AA08 CA12 CB04 CB05 CB11

DA43 DA57 EE03 EE16 EE17

EE22

5F073 AA22 AB17 CB11 EA18 FA07

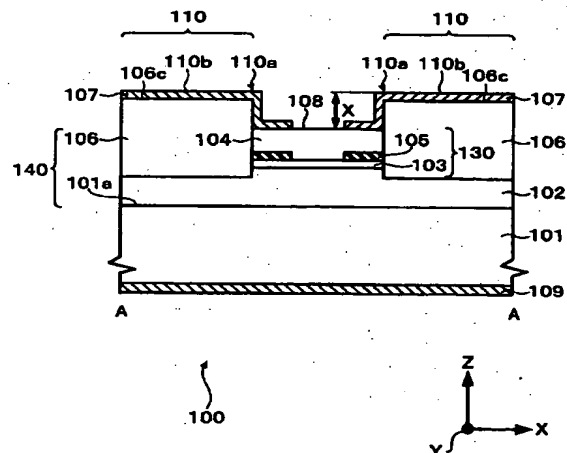
FA08 FA29

(54) 【発明の名称】 面発光型発光素子およびその製造方法、光モジュール、光伝達装置

(57) 【要約】

【課題】 出射光の光学特性を制御できる面発光型発光素子およびその製造方法、ならびに該面発光型発光素子を含む光モジュールおよび光伝達装置を提供する。

【解決手段】 本発明の面発光型発光素子100は、光が出射する出射面108と、出射面108を取り囲むように形成されたバンク110とを含む。バンク110の上縁部110aは、出射面108よりも高い位置に形成されている。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基体と垂直方向に光を出射できる面発光型発光素子であって、

出射面と、該出射面を取り囲むように形成されたバンクとを含み、

前記バンクの上縁部は、前記出射面よりも高い位置に形成されている、面発光型発光素子。

【請求項 2】 請求項 1 において、

前記バンクの上縁部は、前記出射面よりも 0.5 μm 以上高い位置に形成されている、面発光型発光素子。

【請求項 3】 請求項 1 または 2 において、

前記バンクの上面は、前記出射面よりも高い位置に形成されている、面発光型発光素子。

【請求項 4】 請求項 1 ないし 3 のいずれかにおいて、前記バンクは、絶縁体により形成されている、面発光型発光素子。

【請求項 5】 請求項 1 ないし 4 のいずれかにおいて、前記バンクは、ポリミド系樹脂またはフッ素系樹脂により形成されている、面発光型発光素子。

【請求項 6】 請求項 1 ないし 5 のいずれかにおいて、前記出射面の上方に、光学部材が形成されている、面発光型発光素子。

【請求項 7】 請求項 6 において、

前記光学部材は、前記バンクの内側の領域に形成されている、面発光型発光素子。

【請求項 8】 請求項 6 または 7 において、

前記光学部材は、レンズ、干渉フィルタ、波長フィルタ、偏光フィルタ、および波長変換部材のいずれかである、面発光型発光素子。

【請求項 9】 請求項 6 ないし 8 のいずれかにおいて、前記光学部材は、紫外線硬化型樹脂により形成されている、面発光型発光素子。

【請求項 10】 請求項 1 ないし 9 のいずれかにおいて、

前記面発光型発光素子は、面発光型半導体レーザである、面発光型発光素子。

【請求項 11】 請求項 10 において、

前記基体は、半導体基板であり、

前記面発光型半導体レーザは、

前記半導体基板上に形成された共振器と、

前記共振器の少なくとも一部を構成する柱状部と、

前記柱状部の側面を覆う絶縁層と、を含み、

前記柱状部の上面に、前記出射面が設置され、

前記柱状部の周辺領域は、前記バンクとして機能する、面発光型発光素子。

【請求項 12】 請求項 10 において、

前記基体は、半導体基板であり、

前記面発光型半導体レーザは、前記半導体基板上に形成された共振器を含み、

前記半導体基板の裏面に、凹部が形成され、

前記前記凹部の上面に、前記出射面が設置され、

前記凹部の周辺領域は、前記バンクとして機能する、面発光型発光素子。

【請求項 13】 請求項 10 において、

前記基体は、半導体基板であり、

前記面発光型半導体レーザは、前記半導体基板上に形成された共振器を含み、

前記半導体基板の裏面に、第 1 凹部が形成され、

前記第 1 凹部には、光路調整層が埋め込まれて形成され、

前記光路調整層には、第 2 凹部が形成され、

前記第 2 凹部の上面に、前記出射面が形成され、

前記第 2 凹部の周辺領域は、前記バンクとして機能する、面発光型発光素子。

【請求項 14】 請求項 1 ないし 9 のいずれかにおいて、

前記面発光型発光素子は、半導体発光ダイオードである、面発光型発光素子。

【請求項 15】 請求項 14 において、

前記基体は、半導体基板であり、

前記半導体発光ダイオードは、

前記半導体基板上に形成された発光素子部と、

前記発光素子部の少なくとも一部を構成する活性層を含む柱状部と、

前記柱状部の側面を覆う絶縁層と、を含み、

前記柱状部の上面に、前記出射面が設置され、

前記柱状部の周辺領域は、前記バンクとして機能する、面発光型発光素子。

【請求項 16】 請求項 1 ないし 9 のいずれかにおいて、

前記面発光型発光素子は、EL 素子である、面発光型発光素子。

【請求項 17】 請求項 1 ないし 16 のいずれかに記載の面発光型発光素子と、光導波路とを含む、光モジュール。

【請求項 18】 請求項 17 に記載の光モジュールを含む、光伝達装置。

【請求項 19】 基体と垂直方向に光を出射できる面発光型発光素子の製造方法であって、以下の工程 (a) お

よび工程 (b) を含む、面発光型発光素子の製造方法。

(a) 前記出射面を含み、前記発光素子として機能する部分を形成する工程、および

(b) 前記出射面を取り囲むようにバンクを形成する工程であって、該バンクの上面が該出射面よりも高い位置になるように形成する工程。

【請求項 20】 請求項 19 において、

さらに、以下の工程 (c) を含む、面発光型発光素子の製造方法。

(c) 前記出射面の上方に、光学部材を形成する工程。

【請求項 21】 請求項 20 において、

前記工程(c)において、前記光学部材がレンズであって、前記バンクの内側の領域に該レンズを形成する工程を含む、面発光型発光素子の製造方法。

【請求項22】 請求項21において、前記工程(c)において、前記バンクの内側の領域に前記レンズを形成する工程が以下の工程(c-1)および(c-2)を含む、面発光型発光素子の製造方法。

(c-1) インクジェット法により、レンズ材を前記バンクの内側の領域に吐出する工程、および(c-2) 前記レンズ材を硬化させる工程。

【請求項23】 請求項22において、さらに、以下の工程(d)を含む、面発光型発光素子の製造方法。

(d) 前記工程(c-1)の前に、前記レンズ材の濡れ角を調整する工程。

【請求項24】 請求項22または23において、前記レンズ材は、紫外線硬化型樹脂である、面発光型発光素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、面発光型発光素子およびその製造方法、ならびに該面発光型発光素子を含む光モジュールおよび光伝達装置に関する。

【0002】

【背景技術】 面発光型半導体レーザに代表される面発光型発光素子は、光通信や光演算、および各種センサの光源として大いに期待されている。これらの用途においては、場合によって、出射光の光学特性、例えば光の放射角や波長等を制御する必要が生じる。この場合、例えば、所定の光学部材を設置することにより、光学特性を制御することができる。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 本発明の目的は、出射光の光学特性を制御できる面発光型発光素子およびその製造方法を提供することにある。

【0004】 また、本発明の目的は、前記面発光型発光素子を含む光モジュールおよび光伝達装置を提供することにある。

【0005】

【課題を解決するための手段】 (面発光型発光素子) 本発明の面発光型発光素子は、基体と垂直方向に光を出射できる面発光型発光素子であって、出射面と、該出射面を取り囲むように形成されたバンクとを含み、前記バンクの上縁部は、前記出射面よりも高い位置に形成されている。

【0006】 ここで、「バンクの上縁部」とは、前記バンクの上面のうち、前記出射面に近い側の縁部をいう。また、「基体」とは、発光素子が形成される基板をいい、例えば面発光型半導体レーザの場合、半導体基板を

いい、例えば半導体発光ダイオードの場合、例えばサファイア基板をいい、例えばEL素子の場合、例えば透明基板をいう。

【0007】 本発明の面発光型発光素子によれば、前記バンクの上縁部が、前記出射面よりも高い位置に形成されていることにより、前記バンクの内側の領域に光学部材を設置する場合、該光学部材を安定して設置することができる。これにより、前記出射面から出射する光の特性を効果的に制御することができる。

【0008】 本発明の面発光型発光素子は、以下の態様(1)～(8)をとることができる。

【0009】 (1) 前記バンクの上縁部を、前記出射面よりも0.5 μm 以上高い位置に形成することができる。

【0010】 (2) 前記バンクの上面を、前記出射面よりも高い位置に形成することができる。

【0011】 (3) 前記バンクは、絶縁体により形成することができる。

【0012】 (4) 前記バンクは、ポリイミド系樹脂またはフッ素系樹脂により形成することができる。

【0013】 (5) 前記出射面の上方に、光学部材を形成することができる。ここで、光学部材とは、発光素子からの出射光の光学特性を変化させる機能を有する部材をいう。光学特性とは、例えば、波長、偏光、放射角等が挙げられる。このような光学部材としては、例えばレンズ、干渉フィルタ、偏光フィルタ、波長フィルタ、および波長変換部材が例示できる。

【0014】 この場合、前記光学部材は、前記バンクの内側の領域に形成することができる。

【0015】 また、この場合、前記光学部材は、紫外線硬化型樹脂により形成することができる。

【0016】 (6) 前記面発光型発光素子は、面発光型半導体レーザであることができる。この場合、下記の態様(I)～(III)を例示できる。

【0017】 (I) 前記基体は、半導体基板であり、前記面発光型半導体レーザは、前記半導体基板上に形成された共振器と、前記共振器の少なくとも一部を構成する柱状部と、前記柱状部の側面を覆う絶縁層と、を含み、前記柱状部の上面に、前記出射面が設置され、前記柱状部の周辺領域は、前記バンクとして機能できる。

【0018】 (II) 前記基体は、半導体基板であり、前記面発光型半導体レーザは、前記半導体基板上に形成された共振器を含み、前記半導体基板の裏面に、凹部が形成され、前記前記凹部の上面に、前記出射面が設置され、前記凹部の周辺領域は、前記バンクとして機能できる。

【0019】 ここで、半導体基板の裏面とは、前記半導体基板において前記共振器の設置面と反対側の面をいう。

【0020】 (III) 前記基体は、半導体基板であり、

前記面発光型半導体レーザは、前記半導体基板上に形成された共振器を含み、前記半導体基板の裏面に、第1凹部が形成され、前記第1凹部には、光路調整層が埋め込まれて形成され、前記光路調整層には、第2凹部が形成され、前記第2凹部の上面に、前記出射面が形成され、前記第2凹部の周辺領域は、前記バンクとして機能できる。

【0021】(7) 前記面発光型発光素子は、半導体発光ダイオードであることができる。

【0022】この場合、前記基体は、半導体基板であり、前記半導体発光ダイオードは、前記半導体基板上に形成された発光素子部と、前記発光素子部の少なくとも一部を構成する柱状部と、前記柱状部の側面を覆う絶縁層と、を含み、前記柱状部の上面に、前記出射面が設置され、前記柱状部の周辺領域は、前記バンクとして機能することができる。

【0023】(8) 前記面発光型発光素子は、EL素子であることができる。

【0024】(面発光型発光素子の製造方法) 本発明の面発光型発光素子の製造方法は、基体と垂直方向に光を出射できる面発光型発光素子の製造方法であって、以下の工程(a)および工程(b)を含む。

【0025】(a) 前記出射面を含み、前記発光素子として機能する部分を形成する工程、および(b) 前記出射面を取り囲むようにバンクを形成する工程であって、該バンクの上面が該出射面よりも高い位置になるように形成する工程。

【0026】本発明の面発光型発光素子の製造方法によれば、出射光の光学特性が効果的に制御された発光素子を簡便な方法にて形成することができる。

【0027】(1) この場合、以下の工程(c)を含むことができる。

【0028】(c) 前記出射面の上方に、光学部材を形成する工程。

【0029】(2) また、この場合、前記工程(c)において、前記光学部材がレンズであって、前記バンクの内側の領域に該レンズを形成する工程を含むことができる。この工程によれば、前記光学部材が正確な位置に設置された面発光型発光素子を、簡易かつ歩留まり良く形成することができる。

【0030】(3) さらにこの場合、前記工程(c)において、前記バンクの内側の領域に前記レンズを形成する工程が以下の工程(c-1)および(c-2)を含むことができる。

【0031】(c-1) インクジェット法により、レンズ材を前記バンクの内側の領域に吐出する工程、および(c-2) 前記レンズ材を硬化させる工程。

【0032】この工程によれば、前記レンズが正確にアライメントされた面発光型発光素子を、簡易かつ歩留まり良く形成することができる。

【0033】(4) さらにこの場合、以下の工程(d)を含むことができる。

【0034】(d) 前記工程(c-1)の前に、前記レンズ材の濡れ角を調整する工程。この工程によれば、前記バンクの内側の領域に、所望の形状を有するレンズを精度良く形成することができる。

【0035】(5) (3) および(4)の場合において、レンズ材として紫外線硬化型樹脂を用いることができる。この工程によれば、熱工程など素子に対するダメージを与えやすい工程を含まずに、短時間で効率良くレンズ材を硬化させることができるため、素子に対する影響を少なくすることができる。

【0036】(光モジュールおよび光伝達装置) 本発明の面発光型発光素子と、光導波路を含む光モジュールに適用することができる。また、前記光モジュールを含む光伝達装置に適用することができる。

【0037】

【発明の実施の形態】 以下、本発明の好適な実施の形態について、図面を参照しながら説明する。

20 【0038】[第1の実施の形態]

(デバイスの構造) 図1は、本発明を適用した第1の実施の形態に係る面発光型発光素子100を模式的に示す断面図である。図2は、本発明を適用した第1の実施の形態に係る面発光型発光素子100を模式的に示す平面図である。図1は、図2のA-A線における断面を示す図である。なお、本実施の形態においては、面発光型発光素子として面発光型半導体レーザを用いた場合について説明する。

30 【0039】本実施の形態の面発光型発光素子100は、図1に示すように、半導体基板(本実施形態ではGaAs基板)101と、半導体基板101上に形成された垂直共振器(以下「共振器」とする)140を含む。この共振器140は柱状の半導体堆積体(以下「柱状部」とする)130を含み、柱状部130の側面は絶縁層106で覆われている。

40 【0040】本実施の形態の面発光型発光素子100においては、柱状部130の周辺領域はバンク110として機能する。ここで、柱状部130の周辺領域とは、絶縁層106、ならびに第1電極107のうち絶縁層106の上面106cに形成されている部分をいう。

【0041】この面発光型発光素子100は、図1に示すように、光が出射する出射面108と、出射面108を取り囲むように形成されたバンク110を含む。この出射面108は、柱状部130の上面に設置されており、この出射面108からレーザ光が出射する。本実施の形態の面発光型発光素子100においては、柱状部130の上面のうち第1電極107で覆われていない部分が出射面108に該当する。

50 【0042】このバンク110の上縁部110aは、出射面108よりも高い位置に形成されている。ここで、

バンク110の上縁部110aとは、バンク110の上面110bのうち、出射面108に近い側の縁部をいう。本実施の形態の面発光型発光素子100においては、バンク110の上縁部110aとは、バンク110の上面110bのうち、柱状部130に近い側の縁部をいう。

【0043】ここで、「このバンク110の上縁部110aが、出射面108よりも高い位置に形成されている」とは、バンク110の上縁部110aと半導体基板101の共振器設置面101aとの距離が、出射面108と半導体基板101の共振器設置面101aとの距離よりも大きいことをいう。すなわち、半導体基板101の共振器設置面101aを基準として、各構成要素と半導体基板101の共振器設置面101aとの距離が大きいほど、「高い」位置に形成されているとする。

【0044】例えば、後述する「このバンク110の上面110bが、出射面108よりも高い」場合も同様に、バンク110の上面110bと半導体基板101の共振器設置面101aとの距離が、出射面108と半導体基板101の共振器設置面101aとの距離よりも大きいことをいう。他の実施形態においても同様である。

【0045】特に、このバンク110の上縁部110aが、出射面108よりも0.5 μ m以上高い位置に形成されているのが望ましい。すなわち、図1に示すように、出射面108からバンク110の上縁部110aまでの高さXが0.5 μ m以上であることが望ましい。このように、バンク110の上縁部110aが、出射面108よりも0.5 μ m以上高い位置に形成されていることにより、例えば出射面108上にレンズ等の光学部材を設置する場合、前記光学部材を安定な状態で設置することができる。

【0046】さらに、図1に示すように、この面発光型発光素子100においては、バンク110の上面110bが出射面108より高い位置に形成されているのが望ましい。これにより、例えば前述した光学部材を設置する場合、さらに安定な状態で前記光学部材を設置することができる。

【0047】次に、この面発光型発光素子100の各構成要素について説明する。

【0048】面発光型発光素子100は、n型GaAsからなる半導体基板101と、半導体基板101上に形成された共振器140とを含む。

【0049】共振器140には柱状部130が形成されている。ここで、柱状部130とは、共振器140の一部であって、少なくとも上部ミラー104を含む柱状の半導体堆積体をいう。この柱状部130は絶縁層106で埋め込まれている。すなわち、柱状部130の側面は絶縁層106で取り囲まれている。さらに、柱状部130上には第1電極107が形成されている。

【0050】共振器140は、例えば、n型Al_{0.9}G

a_{0.1}As層とn型Al_{0.15}Ga_{0.85}As層とを交互に積層した40ペアの分布反射型多層膜ミラー（以下、「下部ミラー」という）102、GaAsウエル層とAl_{0.3}Ga_{0.7}Asバリア層からなり、ウエル層が3層で構成される量子井戸構造を含む活性層103、およびp型Al_{0.9}Ga_{0.1}As層とp型Al_{0.15}Ga_{0.85}As層とを交互に積層した25ペアの分布反射型多層膜ミラー（以下、「上部ミラー」という）104が順次積層されて構成されている。なお、下部ミラー102、活性層103、および上部ミラー104を構成する各層の組成および層数はこれに限定されるわけではない。

【0051】上部ミラー104は、例えばCがドーピングされることによりp型にされ、下部ミラー102は、例えばSiがドーピングされることによりn型にされている。したがって、上部ミラー104、不純物がドーピングされていない活性層103、および下部ミラー102により、pinダイオードが形成される。

【0052】また、共振器140のうち面発光型発光素子100のレーザ光出射側から下部ミラー102の途中にかけての部分が、レーザ光出射側から見て円形の形状にエッチングされて柱状部130が形成されている。なお、本実施の形態では、柱状部130の平面形状を円形としたが、この形状は任意の形状をとることが可能である。

【0053】さらに、上部ミラー104を構成する層のうち活性層103に近い領域に、酸化アルミニウムからなる電流狭窄層105が形成されている。この電流狭窄層105は、リング状に形成されている。すなわち、この電流狭窄層105は、図1におけるX-Y平面に平行な面で切断した場合における断面が同心円状である形状を有する。

【0054】また、本実施の形態に係る面発光型発光素子100においては、柱状部130の側面ならびに下部ミラー102の上面を覆うようにして、絶縁層106が形成されている。

【0055】この面発光型発光素子100の製造工程においては、柱状部130の側面を覆う絶縁層106を形成した後、柱状部130の上面および絶縁層106の上面に第1電極107を、半導体基板101の裏面（半導体基板101において共振器140の設置面と反対側の面）に第2電極109を、それぞれ形成する。これらの電極形成の際には一般的に、アニール処理を約400℃で行なう（後述する製造プロセスを参照）。したがって、樹脂を用いて絶縁層106を形成する場合、このアニール処理工程に耐え得るためには、絶縁層106を構成する樹脂は耐熱性に優れたものであることが必要とされる。この要求を満たすためには、絶縁層106を構成する樹脂がポリイミド樹脂、フッ素系樹脂、アクリル樹脂、またはエポキシ樹脂等であることが望ましく、特に、加工の容易性や絶縁性の観点から、ポリイミド樹脂

またはフッ素系樹脂であるのが望ましい。また、絶縁層106の上に、樹脂を原材料として光学部材（例えばレンズ）を形成する場合、レンズ材（樹脂）との接触角が大きく、レンズ形状を制御しやすいという観点からも、絶縁層106はポリイミド樹脂またはフッ素系樹脂から形成されるのが望ましい。この場合、絶縁層106は、熱または光等のエネルギー照射により硬化、あるいは化学反応によって樹脂前駆体を硬化させることにより形成される。

【0056】また、柱状部130および絶縁層106の上には、第1電極107が形成されている。さらに、柱状部130上面の中央部には、第1電極107が形成されていない部分（開口部）が設けられている。この部分が出射面108である。この出射面108がレーザ光の出射口となる。第1電極107は、例えばAuとZnの合金とAuとの積層膜からなる。

【0057】さらに、半導体基板101の裏面には、第2電極109が形成されている。すなわち、図1に示す面発光型発光素子100では、柱状部130上で第1電極107と接合し、かつ、半導体基板101の裏面で第2電極109と接合し、この第1電極107および第2電極109によって活性層103に電流が注入される。第2電極109は、例えばAuとGeの合金とAuとの積層膜からなる。

【0058】第1および第2電極107、109を形成するための材料は、前述したものに限定されるわけではなく、例えばTiやPtなどの金属やこれらの合金などが利用可能である。

【0059】（デバイスの動作）本実施の形態の面発光型発光素子100の一般的な動作を以下に示す。なお、下記の面発光型半導体レーザの駆動方法は一例であり、本発明の趣旨を逸脱しない限り、種々の変更が可能である。

【0060】まず、第1電極107と第2電極109とで、pinダイオードに順方向の電圧を印加すると、活性層103において、電子と正孔との再結合が起こり、係る再結合による発光が生じる。そこで生じた光が上部ミラー104と下部ミラー102との間を往復する際に誘導放出が起こり、光の強度が増幅される。光利得が光損失を上まわると、レーザ発振が起こり、柱状部130上面にある出射面108から、半導体基板101に対して垂直方向（図1に示すZ方向）にレーザ光が出射される。ここで、「半導体基板101に対して垂直方向」とは、半導体基板101の表面101a（図1ではX-Y平面と平行な面）に対して垂直な方向（図1ではZ方向）をいう。

【0061】（デバイスの製造プロセス）次に、本発明を適用した第1の実施の形態に係る面発光型発光素子100の製造方法の一例について、図3～図9を用いて説明する。図3～図9は、図1および図2に示す本実施の

形態の面発光型発光素子100の一製造工程を模式的に示す断面図であり、それぞれ図1に示す断面に対応している。

【0062】（1）まず、n型GaAsからなる半導体基板101の表面に、組成を変調させながらエピタキシャル成長させることにより、図3に示すように、半導体多層膜150を形成する。ここで、半導体多層膜150は例えば、n型Al_{0.9}Ga_{0.1}As層とn型Al_{0.15}Ga_{0.85}As層とを交互に積層した4.0ペアの下部ミラー102、GaAsウエル層とAl_{0.3}Ga_{0.7}Asバリア層からなり、ウエル層が3層で構成される量子井戸構造を含む活性層103、およびp型Al_{0.9}Ga_{0.1}As層とp型Al_{0.15}Ga_{0.85}As層とを交互に積層した2.5ペアの上部ミラー104からなる。これらの層を順に半導体基板101上に堆積させることにより、半導体多層膜150が形成される。なお、上部ミラー104を成長させる際に、活性層近傍の少なくとも1層を、AlAs層またはAl組成が0.95以上のAlGaAs層に形成する。この層は後に酸化され、電流狭窄層105となる。また、上部ミラー104の最表面の層は、キャリア密度を高くし、電極（後述する第1電極107）とのオーミック接触をとりやすくしておくのが望ましい。

【0063】エピタキシャル成長を行なう際の温度は、成長方法や原料、半導体基板101の種類、あるいは形成する半導体多層膜150の種類、厚さ、およびキャリア密度によって適宜決定されるが、一般に、450℃～800℃であるのが好ましい。また、エピタキシャル成長を行なう際の所要時間も、温度と同様に適宜決定される。また、エピタキシャル成長させる方法としては、有機金属気相成長（MOVPE: Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy）法や、MBE法（Molecular Beam Epitaxy）法、あるいはLPE法（Liquid Phase Epitaxy）を用いることができる。

【0064】続いて、半導体多層膜150上に、フォトリソ（図示しない）を塗布した後フォトリソグラフィ法により該フォトリソをパターニングすることにより、所定のパターンのレジスト層R100を形成する。ついで、このレジスト層R100をマスクとして、例えばドライエッチング法により、上部ミラー104、活性層103、および下部ミラー102の一部をエッチングして、図4に示すように、柱状の半導体堆積体（柱状部）130を形成する。以上の工程により、図4に示すように、半導体基板101上に、柱状部130を含む共振器140が形成される。その後、レジスト層R100を除去する。

【0065】続いて、図5に示すように、例えば400℃程度の水蒸気雰囲気中に、上記工程によって共振器140が形成された半導体基板101を投入することにより、前述の上部ミラー104中のAl組成が高い層を側

面から酸化して、電流狭窄層 105 を形成する。酸化レートは、炉の温度、水蒸気の供給量、酸化すべき層（前記 A1 組成が高い層）の A1 組成および膜厚に依存する。酸化により形成される電流狭窄層を備えた面発光レーザでは、駆動する際に、電流狭窄層が形成されていない部分（酸化されていない部分）のみに電流が流れる。したがって、酸化によって電流狭窄層を形成する工程において、形成する電流狭窄層 105 の範囲を制御することにより、電流密度の制御が可能となる。

【0066】以上の工程により、面発光型発光素子 100 のうち、発光素子として機能する部分（出射面 108 および電極 107、109 を除く）が形成される。

【0067】(2) 次いで、柱状部 130 を取り囲む絶縁層 106（図 9 参照）を形成する。なお、ここでは、絶縁層 106 を形成するための材料として、ポリイミド樹脂を用いた場合について説明する。まず、図 6 に示すように、例えばスピンコート法を用いて、樹脂前駆体（ポリイミド前駆体）を共振器 140 上に塗布して、樹脂前駆体層 106a を形成する。ここで、樹脂前駆体層 106a の膜厚（すなわち、下部ミラー 102 上面から樹脂前駆体層 106a 上面までの距離）が柱状部 130 の高さより大きくなるように、樹脂前駆体層 106a を形成する。次に、使用する樹脂前駆体層 106a が溶媒を含む場合、この半導体基板 101 について、ホットプレート等を用いて加熱して樹脂前駆体層 106a 中の溶媒を除去する。次いで、柱状部 130 の上に存在する樹脂を除去する（図 8 参照）。

【0068】なお、樹脂前駆体層 106a の形成方法としては、前述したスピンコート法のほか、ディッピング法、スプレーコート法、インクジェット法等の公知技術が利用できる。

【0069】柱状部 130 の上に存在する樹脂を除去する方法としては、(i) 樹脂前駆体層 106a を半硬化させた後、ウェットエッチングにより柱状部 130 の上に存在する樹脂を除去する方法（特願 2001-066299 号に記載されている方法を利用）、(ii) 樹脂前駆体層 106a をほぼ完全に硬化させた後、ドライエッチングにより柱状部 130 の上に存在する樹脂を除去する方法等が例示できる。本実施の形態においては、前記 (i) の方法を用いた場合について説明する。

【0070】前記 (i) の方法では、まず、図 7 に示すように、樹脂前駆体層 106a を半硬化させることにより、半硬化樹脂層 106b を形成する。ここで、半硬化とは、熱または光等のエネルギー線を付与することにより、続く工程におけるウェットエッチングに用いるエッチャントに対する溶解性を変化させることをいう。

【0071】次に、図 7 に示すように、フォトリソグラフィ法により、半硬化樹脂層 106b において、下部に柱状部 130 が形成されている領域上にはレジスト層 R200 を形成せず、下部に柱状部 130 が形成されてい

ない領域上にレジスト層 R200 を形成する。

【0072】次いで、ウェットエッチング法を用いてこの半導体基板 101 を処理することにより、図 8 に示すように、柱状部 130 の上に形成されていた半硬化樹脂層 106b を除去する。その後、レジスト層 R200 を除去する。

【0073】続いて、この半導体基板 101 を、例えば 350℃ 程度の炉に入れて、半硬化樹脂層 106b をイミド化させることにより、図 9 に示すように、ほぼ完全に硬化した絶縁層 106 が得られる。上記工程においては、樹脂前駆体層 106a（図 6 参照）の膜厚を制御することにより、絶縁層 106（図 9 参照）の高さを制御することができる。その結果、バンク 110（図 1 参照）の高さを制御することができる。

【0074】また、前記 (i) の方法において、感光性を有する樹脂で絶縁層 106 を形成する場合は、樹脂前駆体（感光していない状態）の上にレジスト層を形成せずに、一般的なレジストのパターニングと同様の方法で直接パターニングすることが可能である。

【0075】なお、上記の説明においては、前記 (i) の方法について説明したが、柱状部 130 の上に存在する樹脂を除去する方法は、前記 (i) の方法に限定されるわけではなく、前記 (ii) の方法を用いることもできる。

【0076】以上の工程により、図 9 に示すように、絶縁層 106 の上面 106c が、柱状部 130 の上面よりも高い位置に形成される。

【0077】(3) 次に、活性層 103 に電流を注入するための第 1 電極 107 および第 2 電極 109、およびレーザ光の出射面 108 を形成する工程について説明する。

【0078】まず、第 1 電極 107 および第 2 電極 109 を形成する前に、必要に応じて、プラズマ処理法等を用いて、柱状部 130 の上面を洗浄する。これにより、より安定した特性の素子を形成することができる。つづいて、例えば真空蒸着法により絶縁層 106 および柱状部 130 の上面に、例えば Au と Zn の合金と Au との積層膜（図示せず）を形成した後、リフトオフ法により、柱状部 130 の上面に、前記積層膜が形成されていない部分を形成する。この部分が出射面 108 となる。なお、前記工程において、リフトオフ法のかわりに、ドライエッチング法を用いることもできる。

【0079】また、半導体基板 101 の裏面に、例えば真空蒸着法により、例えば Au と Ge の合金と Au との積層膜（図示せず）を形成する。次いで、アニール処理する。アニール処理の温度は電極材料に依存する。本実施形態で用いた電極材料の場合は、通常 400℃ 前後で行なう。以上の工程により、第 1 電極 107 および第 2 電極 109 が形成されるとともに、バンク 110 が得られる。バンク 110 は、絶縁層 106、ならびに第 1 電

極 107 のうち絶縁層 106 の上面に形成されている部分から構成される。この場合において、バンク 110 の一部が絶縁層 106 で構成されていることにより、前述の工程において、特別な処理を必要とすることなく絶縁層 106 上に第 1 電極 107 を形成することができる。このバンク 110 の上縁部 110a は、出射面 108 よりも高い位置に形成される。

【0080】以上のプロセスにより、図 1 に示す面発光型発光素子 100 が得られる。

【0081】（作用および効果）本実施の形態に係る面発光型発光素子 100 の主な作用および効果を以下に示す。

【0082】（1）本実施の形態の面発光型発光素子 100 によれば、出射面 108 と、出射面 108 を取り囲むように形成されたバンク 110 とを含み、このバンク 110 の上縁部 110a が出射面 108 よりも高い位置に形成されていることにより、バンク 110 の内側の領域に、光学部材を安定して設置することができる。これにより、出射面 108 から出射する光の特性を効果的に制御することができる。

【0083】（2）また、本実施の形態の面発光型発光素子 100 の製造方法によれば、出射光の光学特性が効果的に制御された発光素子を簡便な方法にて形成することができる。

【0084】また、本実施の形態においては、面発光型発光素子 100 が面発光型半導体レーザである場合について説明したが、本発明は、面発光型半導体レーザ以外の発光素子にも適用可能である。本発明を適用できる面発光型発光素子としては、例えば、EL 素子や半導体発光ダイオードなどが挙げられる。

【0085】〔第 2 の実施の形態〕

（デバイスの構造）図 10 は、本発明を適用した第 2 の実施の形態に係る面発光型発光素子 200 を模式的に示す断面図である。図 11 は、本発明を適用した第 2 の実施の形態に係る面発光型発光素子 200 を模式的に示す平面図である。図 10 は、図 11 の A-A 線における断面を示す図である。なお、本実施の形態においては、第 1 の実施の形態と同様に、面発光型発光素子として面発光型半導体レーザを用いた場合について説明する。

【0086】本実施の形態に係る面発光型発光素子 200 は、出射面 108 の上に、光学部材としてレンズ 111 が設置されている点以外は、第 1 の実施の形態に係る面発光型発光素子 100 とほぼ同様の構造を有する。第 1 の実施の形態に係る面発光型発光素子 100 と実質的に同じ機能を有する構成要素には同一符号を付して、その詳細な説明を省略する。

【0087】このレンズ 111 は、バンク 110 の内側の領域において、出射面 108 上に形成されている。レンズ 111 の材料は、特に限定されるものではないが、例えば、紫外線硬化型樹脂や熱硬化型樹脂のように、熱

または光等のエネルギー線の照射により硬化する材質を用いて形成することができる。このような材質としては、例えば、紫外線硬化型ポリイミド系樹脂、紫外線硬化型アクリル系樹脂、および紫外線硬化型エポキシ系樹脂が例示できる。

【0088】なお、本実施の形態においては、光学部材としてレンズ 111 を用いた場合について説明したが、光学部材はレンズに限定されるわけではなく、光学部材として干渉フィルタ、波長フィルタ、偏光フィルタ、および波長変換部材のいずれかを用いることができる。波長フィルタを用いる場合、特定の波長の光のみを通過させることができる。また、波長変換部材の場合、発光素子 200 が発する光の波長とは異なる波長の光を出射させることができる。

【0089】（デバイスの動作）本実施の形態の面発光型発光素子 200 の動作は、第 1 の実施の形態の面発光型発光素子 100 と基本的に同様である。ただし、本実施の形態の面発光型発光素子 200 では、出射面 108 上にレンズ 111 が設置されているので、出射面 108 から出射された光は、レンズ 111 によって放射角が調整された後、半導体基板 101 に対して垂直方向（図 10 に示す Z 方向）へと出射される。

【0090】（デバイスの製造プロセス）次に、本発明を適用した第 2 の実施の形態に係る面発光型発光素子 200 の製造方法の一例について、図 12～図 14 を用いて説明する。図 12～図 14 は、図 10 および図 11 に示す本実施の形態の面発光型発光素子 200 の一製造工程を模式的に示す断面図であり、それぞれ図 10 に示す断面に対応している。

【0091】第 2 の実施の形態に係る面発光型発光素子 200 は、第 1 の実施の形態に係る面発光型発光素子 100 の出射面 108 の上にレンズ 111 を形成することにより得られる。したがって、面発光型発光素子 200 を形成するためには、まず、前述の方法にしたがって、面発光型発光素子 100 を形成する。なお、本実施の形態においては、レンズ 111 を形成するための材料（レンズ材 111a）として紫外線硬化型樹脂を用いる場合について説明するが、レンズ材を形成するための材料はこれに限定されるわけではない。紫外線硬化型樹脂は、短時間の紫外線照射によって硬化する。すなわち、熱工程など素子に対するダメージを与えやすい工程を経ずに硬化させることができる。このため、紫外線硬化型樹脂であるレンズ材 111a を用いてレンズ 111 を形成することにより、素子へ与える影響を少なくすることができる。

【0092】次いで、レンズ 111（図 10 参照）を形成する前に、必要に応じて、レンズ材 111a（図 12 参照）の濡れ角を調整する工程を行なう。濡れ角を調整するための処理としては、(i) レンズ材に対して撥液性を有する材料で薄膜を形成する方法、(ii) プラズマ

処理を行ない表面を改質する方法、が挙げられる。これらの処理の後、レンズ材を吐出してレンズを形成すれば、レンズの大きさおよび形状を綿密に制御することができる。本実施の形態においては、前記 (i) の方法を用いた場合について説明する。また、レンズ材に対して撥液性を有する材料として、フッ化アルキルシラン (FAS) を用いる場合について説明する。

【0093】まず、FASの蒸気雰囲気中に面発光型発光素子100を投入することにより、素子100の表面全体に、FAS膜からなる濡れ角調整層 (図示せず) を形成する。以上の処理がなされることにより、少なくともバンク110の内側の領域に、FASの単分子膜が形成される。この工程によれば、後述する工程において、バンク110の内側の領域にレンズ材111aを導入した場合、FASの単分子膜からなる濡れ角調整層とレンズ材111aとの濡れ角によって、所望の形状のレンズ111を得ることができる。特に、FASの単分子膜からなる濡れ角調整層とレンズ材111aとの濡れ角が大きい場合、曲率半径がより小さいレンズを制御良く得ることができる。

【0094】次いで、レンズ材111aをバンク110の内側の領域へと導入する。本実施の形態においては、インクジェット法を用いて、レンズ材111aをバンク110の内側の領域へと吐出する方法について説明する。インクジェットの吐出方法としては、例えば、

(i) 熱により液体 (ここではレンズ材) 中の気泡の大きさを变化させることで圧力を生じ、液体を吐出する方法、(ii) 圧電素子により生じた圧力によって液体を吐出させる方法とがある。圧力の制御性の観点からは、前記 (ii) の方法が望ましい。

【0095】インクジェットヘッドのノズルの位置とレンズ材の吐出位置とのアライメントは、一般的な半導体集積回路の製造工程における露光工程や検査工程で用いられる公知の画像認識技術を用いて行なわれる。例えば、図12に示すように、インクジェットヘッド120のノズル112の位置と、面発光型発光素子100のバンク110の位置とのアライメントを行なう。アライメント後、インクジェットヘッド120に印加する電圧を制御した後、レンズ材111aを吐出する。この際、図13に示すように、ノズル112から吐出されるレンズ材111aがバンク110の内側の領域に着弾すれば、表面張力によってバンク110で囲まれた領域の中心がレンズ材111aの中心になるようにレンズ材111aが変形するため、自動的に位置の補正がなされる。この場合、レンズ材111aは、バンク110の内側の領域の容積、レンズ材111aの吐出量、およびレンズ材111aの接触角に応じた曲率を有する形状となる。したがって、これらを制御することにより、得られるレンズ111の曲率半径を制御することが可能となり、レンズ設計の自由度が高くなる。

【0096】以上の工程を行なった後、図14に示すように、エネルギー線 (例えば紫外線) 113を照射することにより樹脂を硬化させて、恒久的なレンズ形状を有するレンズ111を出射面108上に形成する。最適な紫外線の波長および照射量はレンズ材111aに依存する。例えば、レンズ材111aとしてアクリル系紫外線硬化樹脂を用いた場合、波長350nm程度、強度10mWの紫外線を5分間照射することで硬化を行なう。以上の工程により、面発光型発光素子200が得られる。

10 【0097】なお、前述のプロセスにおいては、レンズ材111a (図12参照) の濡れ角を調整する工程の際に、レンズ材に対して撥液性を有する材料として、FASを用いる場合について説明したが、FASのかわりにフッ素系樹脂を用いることもできる。この場合、第1電極107の表面のうち、バンク110の内側以外の領域をレジスト等で保護してから、例えばスピコート法によって、フッ素系樹脂からなる濡れ角調整層 (図示せず) を形成する。この濡れ角調整層を形成することで、前述のFASを用いた方法と同様に、所望の形状を有するレンズを精度良く得ることができる。さらに、バンク110の内側の領域に精度良くレンズ111を形成することができ、かつ、レンズ111の大きさおよび形状を綿密に制御することができる。

【0098】(作用および効果) 本実施の形態に係る面発光型発光素子200およびその製造方法は、第1の実施の形態に係る面発光型発光素子100およびその製造方法と実質的に同じ作用および効果を有する。さらに、本実施の形態に係る面発光型発光素子200およびその製造方法では、以下に示す作用および効果を有する。

30 【0099】(1) この面発光型発光素子200では、バンク110の内側の領域にレンズ111が形成されていることにより、出射面108からの出射光を、例えば光ファイバ等の光導波路に導入する場合に結合効率の向上を図ることができる。

【0100】また、この面発光型発光素子200では、バンク110の上縁部110aが出射面108よりも高い位置に形成され、このバンク110の内側の領域にレンズ111が形成されているので、レンズ111が所定の位置に精度良く設置することができる。このため、放射角を精密に制御することができる。

40 【0101】さらに、バンク110の上縁部110aが出射面108よりも0.5μm以上高い位置に形成されていることにより、レンズ111を安定な状態で設置することができる。

【0102】そのうえ、バンク110の上面110bが出射面108よりも高い位置に設置されている。これにより、バンク110の内側の領域に、さらに安定な状態でレンズ111を設置することができる。

50 【0103】(2) 出射面上にレンズを形成する一般的な方法、例えば転写による方法では、出射面上に簡易か

つ精度良くレンズを形成することが難しい場合が多い。これに対して、本実施の形態に係る面発光型発光素子 200 の製造方法によれば、バンク 110 の上縁部 110a が出射面 108 よりも高い位置に形成されていることにより、光学部材（レンズ 111）を形成する際にアライメントが容易で、かつ歩留まりを高めることができる。

【0104】また、バンク 110 の上縁部 110a が出射面 108 よりも 0.5 μm 以上高い位置に形成されていることにより、バンク 110 の内側の領域に、レンズ 111 を形成するためのレンズ材 111a（図 13 参照）を導入する際に、レンズ材 111a の導入量を容易に制御することができる。このため、レンズ 111 の大きさおよび形状の制御が可能となる。

【0105】さらに、インクジェット法を用いてレンズ材 111a をバンク 110 の内側の領域に吐出させ、その後レンズ材 111a を硬化させる工程によって、レンズ 111 を形成することにより、レンズ 111 が正確にアライメントされた面発光型発光素子を、簡易かつ歩留まり良く形成することができる。

【0106】そのうえ、レンズ 111（図 10 参照）を形成する前に、必要に応じて、レンズ材 111a（図 12 参照）の濡れ角を調整する工程を行なうことにより、濡れ角調整層とレンズ材 111a との濡れ角によって、所望の形状を有するレンズを精度良く得ることができる。

【0107】〔第 3 の実施の形態〕

（デバイスの構造）図 15 は、本発明を適用した第 3 の実施の形態に係る面発光型発光素子 300 を模式的に示す断面図である。なお、本実施の形態においては、第 1 および第 2 の実施の形態と同様に、面発光型発光素子として面発光型半導体レーザを用いた場合について説明する。

【0108】本実施の形態に係る面発光型発光素子 300 は、半導体基板 101 の裏面側から光が出射する点で、第 1 および第 2 の実施の形態の面発光型発光素子 100、200 と異なる構造を有する。具体的には、半導体基板 101 に設けられた凹部 221 の底面に、出射面 308 が設置され、この出射面 308 から光が出射する。

【0109】また、この面発光型発光素子 300 には、InGaAs 系の層を含む活性層 303 が形成されている点で、AlGaAs 系の層を含む活性層 103 が形成されている第 1 および第 2 の実施の形態の面発光型発光素子 100、200 と異なる構造を有する。具体的には、活性層 303 は、 $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ ウェル層および GaAs バリア層を含む量子井戸構造を有する。

【0110】また、この面発光型発光素子 300 は、InGaAs 系の層を含む活性層 303 が設置されていることにより、GaAs 基板を透過可能な波長 880 nm 以上の光（例えば 1100 nm 程度）を出射する面発光

型半導体レーザとして機能することができる。

【0111】一方、出射面 308 の上に、光学部材としてレンズ 311 が設置されている点で、第 2 の実施の形態の面発光型発光素子 200 と同様の構造を有する。

【0112】この他の構造については、第 1 および第 2 の実施の形態に係る面発光型発光素子 100、200 とほぼ同様の構造を有する。第 1 および第 2 の実施の形態に係る面発光型発光素子 100、200 と実質的に同じ機能を有する構成要素には同一符号を付して、その詳細な説明を省略する。

【0113】本実施の形態に係る面発光型発光素子 300 は、半導体基板 101 の裏面に凹部 221 が設置され、この凹部 221 の底面に、出射面 308 が設置されている。また、第 2 電極 109 は、半導体基板 101 の裏面のうち、出射面 308 以外の領域に形成されている。すなわち、出射面 308 は、凹部 221 の底面のうち第 2 電極 109 で覆われていない部分である。

【0114】また、バンク 310 は、半導体基板 101 の裏面側に設置されている。この面発光型発光素子 300 においては、凹部 221 の周辺領域がバンク 310 として機能する。具体的には、半導体基板 101 のうち凹部 221 の周辺領域ならびに該周辺領域上に形成された第 2 電極 109 がバンク 310 として機能する。

【0115】さらに、図 15 に示すように、このバンク 310 の上縁部 310a は、出射面 308 よりも高い位置に形成されている。さらに、バンク 310 の上面 310b は、出射面 308 よりも高い位置に形成されている。

【0116】（デバイスの動作）本実施の形態の面発光型発光素子 300 の動作は、第 1 および第 2 の実施の形態の面発光型発光素子 100、200 と基本的に同様である。ただし、本実施の形態の面発光型発光素子 300 では、出射面 308 が半導体基板 101 の裏面に設置されているため、活性層 303 で生じた光は、下部ミラー 102 および半導体基板 101 を経た後、出射面 308 から出射する。また、本実施の形態の面発光型発光素子 300 では、第 2 の実施の形態の面発光型発光素子 200 と同様に、出射面 308 上にレンズ 311 が設置されている。このため、出射面 308 から出射する光は、レンズ 311 によって放射角が調整された後、半導体基板 101 に対して垂直方向（図 15 に示す Z 方向）へと出射する。

【0117】（デバイスの製造プロセス）次に、本発明を適用した第 3 の実施の形態に係る面発光型発光素子 300 の製造方法の一例について、図 16 および図 17 を用いて説明する。図 16 および図 17 は、図 15 に示す本実施の形態の面発光型発光素子 300 の一製造工程を模式的に示す断面図である。

【0118】第 3 の実施の形態に係る面発光型発光素子 300 は、途中の製造プロセスまでは、前述の第 1 の実

10

20

30

40

50

施の形態に係る面発光型発光素子 100 の製造プロセスとほぼ同様の工程によって形成することができる。具体的には、第 1 の実施の形態に係る面発光型発光素子 100 の製造プロセスにおいて、活性層 103 (図 3 参照) のかわりに、 $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ ウエル層および GaAs バリア層を含む活性層 303 を形成する点を除いて、第 1 の実施の形態において図 1 ~ 図 6 に示す工程とほぼ同様の工程によって得られた半導体基板 101 を用いて形成される。

【0119】まず、図 6 に示す半導体基板 101 に対して、例えば前述の方法と同様の方法にて、樹脂前駆体層 106a を半硬化させて半硬化樹脂層 (図示せず) を形成した後、ウェットエッチングにより、該半硬化樹脂層の表面の高さを、柱状部 130 の上面と同じ高さに形成する。その後、前記半硬化樹脂層をほぼ完全に硬化させて、絶縁層 106 (図 16 参照) を形成する。なお、この工程において、ウェットエッチングを用いずに、樹脂前駆体層 106a をほぼ完全に硬化させて樹脂層 (図示せず) を形成した後、該樹脂層のうち柱状部 130 の上面に形成された部分をドライエッチングにより除去してもよい。

【0120】続いて、図 17 に示すように、例えばドライエッチング法により、半導体基板 101 の裏面に凹部 221 を形成する。続いて、第 1 の実施の形態の面発光型発光素子 100 の製造方法と同様の方法を用いて、第 1 電極 107 および第 2 電極 109、ならびに出射面 308 を形成した後、前述した第 2 の実施の形態の面発光型発光素子 200 の製造方法と同様の方法を用いて、レンズ 311 を形成する。

【0121】(作用および効果) 本実施の形態に係る面発光型発光素子 300 およびその製造方法は、第 1 および第 2 の実施の形態に係る面発光型発光素子 100、200 およびその製造方法と実質的に同じ作用および効果を有する。さらに、本実施の形態に係る面発光型発光素子 300 およびその製造方法では、以下に示す作用および効果を有する。

【0122】この面発光型発光素子 300 では、バンク 310 の高さ、すなわち凹部 221 の深さを調節することによって光路長の調整を行なうことができる。これにより、出射光の放射角の制御をより自由度が高い状態で行なうことが可能となる。その結果、放射角が良好に制御された素子が得られる。また、凹部 221 の深さを調節することによって、レンズ材の導入量を容易に制御することができる。これにより、大きさおよび形状が良好に制御されたレンズ 311 を形成することができる。

【0123】[第 4 の実施の形態]

(デバイスの構造) 図 18 は、本発明を適用した第 4 の実施の形態に係る面発光型発光素子 400 を模式的に示す断面図である。なお、本実施の形態においては、第 1 ~ 第 3 の実施の形態と同様に、面発光型発光素子として

面発光型半導体レーザを用いた場合について説明する。

【0124】本実施の形態に係る面発光型発光素子 400 は、半導体基板 101 の裏面側から光が出射する点で、第 3 の実施の形態の面発光型発光素子 300 と同様の構造を有する。また、この面発光型発光素子 400 は、第 3 の実施の形態の面発光型発光素子 300 と同様に、 $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ ウエル層と GaAs バリア層からなる量子井戸構造を有する活性層 303 を有する。

【0125】一方、この面発光型発光素子 400 は、半導体基板 101 の裏面に第 1 凹部 321 が設置され、第 1 凹部 321 に光路調整層 430 が埋め込まれている点、ならびに第 2 電極 109 が第 1 電極 107 と同じ側に形成されている点で、第 3 の実施の形態の面発光型発光素子 300 と異なる構造を有する。

【0126】具体的には、この面発光型発光素子 400 では、半導体基板 101 の裏面に第 1 凹部 321 が設置され、第 1 凹部 321 に光路調整層 430 が埋め込まれ、この光路調整層 430 に第 2 凹部 421 が設置されている。この第 2 凹部 421 の上に、光学部材としてレンズ 411 が設置されている。

【0127】この他の構成要素の構造および機能については、第 3 の実施の形態に係る面発光型発光素子 300 とほぼ同様の構造および機能を有する。第 3 の実施の形態に係る面発光型発光素子 300 と実質的に同じ機能を有する構成要素には同一符号を付して、その詳細な説明を省略する。

【0128】本実施の形態に係る面発光型発光素子 400 においては、第 1 凹部 321 に光路調整層 430 が埋め込まれている。すなわち、図 18 に示すように、光路調整層 430 は、半導体基板 101 とレンズ 411 との間に形成されている。この光路調整層 430 の幅および膜厚は、第 1 凹部 321 の幅および深さを調整することによって制御することができる。また、この光路調整層 430 は、面発光型発光素子 400 より出射されるレーザ光を吸収しない材料で形成されていることが望ましい。すなわち、光路調整層 430 の材質は、面発光型発光素子 400 より出射されるレーザ光の波長帯域に吸収帯域をもたない材質から形成されていることが望ましい。

【0129】また、この面発光型発光素子 400 においては、光路調整層 430 のうち第 2 凹部 421 の周辺領域がバンク 410 として機能する。このバンク 410 の上縁部 410a は、出射面 408 よりも高い位置に形成されている。さらに、バンク 410 の上面 410b は、出射面 408 よりも高い位置に形成されている。

【0130】(デバイスの動作) 本実施の形態の面発光型発光素子 400 の動作は、第 3 の実施の形態の面発光型発光素子 300 と基本的に同様である。また、本実施の形態の面発光型発光素子 400 は、半導体基板 101 とレンズ 411 との間に光路調整層 430 が形成されて

いるため、活性層 303 にて生じた光は、下部ミラー 102 および半導体基板 101 を経た後、半導体基板 101 の裏面から光路調整層 430 を経て出射面 408 へと到達し、出射面 408 から出射する。この出射面 408 から出射した光は、レンズ 411 によって放射角が調整された後、半導体基板 101 と垂直方向（図 18 に示す -Z 方向）へと出射される。

【0131】（作用および効果）本実施の形態に係る面発光型発光素子 400 およびその製造方法は、第 1 ～ 第 3 の実施の形態に係る面発光型発光素子 100、200、300 およびこれらの製造方法と実質的に同じ作用および効果を有する。さらに、本実施の形態に係る面発光型発光素子 400 およびその製造方法では、以下に示す作用および効果を有する。

【0132】この面発光型発光素子 400 によれば、半導体基板 101 とレンズ 411 との間に光路調整層 430 が形成されていることにより、出射光の放射角の制御をより自由度が高い状態で行なうことが可能になる。すなわち、光路調整層 430 を形成するための材料を適宜選択することにより、光路調整層 430 の屈折率を調整することができる。これにより、出射光の放射角の制御をより高い自由度で行なうことができる。

【0133】〔第 5 の実施の形態〕

（デバイスの構造）図 19 は、本発明を適用した第 5 の実施の形態に係る面発光型発光素子 500 を模式的に示す断面図である。図 20 は、本発明を適用した第 5 の実施の形態に係る面発光型発光素子 500 を模式的に示す平面図である。図 19 は、図 20 の B-B 線における断面を示す図である。なお、本実施の形態においては、面発光型発光素子として半導体紫外発光ダイオード（以下、「紫外 LED」ともいう）を用いた場合について説明する。

【0134】この実施の形態の面発光型発光素子 500 は、図 19 に示すように、サファイア基板 501 と、サファイア基板 501 上に形成された発光素子部 502 とを含む。この面発光型発光素子 500 においては、この発光素子部 502 によって紫外光が発生する。

【0135】発光素子部 502 は、例えば、サファイア基板 501 上に形成された n 型 GaN 層からなるバッファ層 522、n 型 GaN 層からなるコンタクト層 523、n 型 AlGaIn 層からなるクラッド層 524、GaN 層を少なくとも 1 層含み、発光層として機能する活性層 525、p 型 AlGaIn 層からなるクラッド層 526、および p 型 GaN 層からなるコンタクト層 527 が順次積層されて構成されている。

【0136】n 型 GaN 層からなるコンタクト層 523、不純物がドーピングされていない活性層 525、および p 型 GaN 層からなるコンタクト層 527 により、pin ダイオードが形成される。

【0137】また、発光素子部 502 のうち出射面 50

8 側からコンタクト層 523 の途中にかけての部分が、出射面 508 側から見て円形の形状にエッチングされて柱状部 530 が形成されている。本実施の形態においては、柱状部 530 とは、発光素子部 502 の一部を構成する柱状の半導体堆積体をいう。なお、柱状部 530 の平面形状は任意の形状をとることが可能である。

【0138】絶縁層 506 は、柱状部 530 の側面ならびにコンタクト層 523 の上面を覆うように形成されている。したがって、柱状部 530 の側面は絶縁層 506 で取り囲まれている。

【0139】さらに、柱状部 530 の上面から絶縁層 506 の表面にかけては、第 1 電極 507 が形成されている。柱状部 530 の上面には出射面 508 が設置されており、この出射面 508 から光が出射する。すなわち、柱状部 530 の上面のうち第 1 電極 507 で覆われていない部分が出射面 508 に該当する。また、絶縁層 506 の一部が除去されてコンタクト層 523 が露出しており、この露出したコンタクト層 523 の表面に接触する形で第 2 電極 509 が形成されている。

【0140】絶縁層 506、ならびに第 1 および第 2 電極 507、509 としては、前述した第 1 ～ 第 4 の実施の形態の面発光型発光素子 100 ～ 400 を構成する絶縁層 106、ならびに第 1 および第 2 電極 107、109 と同様の材料を用いて形成することができる。

【0141】本実施の形態の面発光型発光素子 500 においては、柱状部 530 の周辺領域はバンク 510 として機能する。ここで、柱状部 530 の周辺領域とは、絶縁層 506、ならびに第 1 電極 507 のうち絶縁層 506 の上面 506c に形成されている部分をいう。

【0142】さらに、出射面 508 の上には蛍光体層 512 が設置されている。この蛍光体層 512 は、図 19 に示すように、バンク 510 の内側の領域に形成されている。この蛍光体層 512 は、波長変換部材としての機能を有する。具体的には、蛍光体層 512 は、発光素子部 502 で生じた光を異なる波長の光へと変換する機能を有する。蛍光体層 512 は、蛍光体材料を含有する層からなる。蛍光体層 512 に含まれる蛍光体材料は、出射面 508 から出射する光に励起されて、この蛍光体材料に依存する波長の光を発する。本実施の形態の面発光型発光素子 500 においては、蛍光体層 512 は、例えばイットリウム系材料およびユウロビウム系材料からなる蛍光体材料を含有する層からなる。この場合、蛍光体層 512 は、発光素子部 502 で生じた光を赤色光へと変換する。なお、蛍光体層 512 に用いる蛍光体材料としては、上述した材料に限定されず、例えば Sr、Mg、Ba、Ca、Zn 等を母体とする公知の蛍光体材料を用いることができる。

【0143】バンク 510 は、出射面 508 を取り囲むように形成されている。このバンク 510 の上縁部 510a は、出射面 508 よりも高い位置に形成されてい

る。さらに、図19に示すように、バンク510の上面510bを出射面508より高い位置に形成することができる。

【0144】(デバイスの動作) 本実施の形態の面発光型発光素子500の一般的な動作を以下に示す。なお、下記の紫外LEDの駆動方法は一例であり、本発明の趣旨を逸脱しない限り、種々の変更が可能である。

【0145】まず、第1電極507と第2電極509とで、pinダイオードに順方向の電圧を印加すると、活性層525において、電子と正孔との再結合が起こり、係る再結合による発光(紫外光)が生じる。この紫外光は、柱状部530上面にある出射面508から出射する。

【0146】この出射面508から出射する紫外光を励起光として、蛍光体層512中の蛍光体材料が励起されて、この紫外光とは異なる所定波長の光(ここでは赤色光)が生じる。この結果、蛍光体層512中の蛍光体材料に依存した波長の光が蛍光体層512から外部へと出射する。

【0147】(デバイスの製造プロセス) 次に、本発明を適用した第5の実施の形態に係る面発光型発光素子500の製造方法の一例について説明する。この面発光型発光素子500は、前述の第1の実施の形態の面発光型発光素子100と類似する工程にて形成することができる。

【0148】(1) まず、サファイア基板501の表面に、n型Ga_{0.4}N層からなるバッファ層522、n型Ga_{0.4}N層からなるコンタクト層523、n型AlGa_{0.4}N層からなるクラッド層524、Ga_{0.4}N層を少なくとも1層含み、発光層として機能する活性層525、p型AlGa_{0.4}N層からなるクラッド層526、およびp型Ga_{0.4}N層からなるコンタクト層527からなる多層膜(図示せず)を結晶成長させる。結晶成長の方法としては、MOCVD法やMBE法が例示できる。この際、n型の層を形成する際には例えばSiを、p型の層を形成する際には例えばMgをそれぞれドーピングする。あるいは、n型の層を形成する際にGeを、p型の層を形成する際にはZnを用いてドーピングすることもできる。また、結晶成長にあたって、例えば特開平4-297023号公報に開示されている公知技術が利用できる。

【0149】次いで、アニール処理を行ない、クラッド層526およびコンタクト層527の各層に含まれるMgを活性化した後、例えばドライエッチング法により、p型コンタクト層527からn型コンタクト層523の途中にかけてエッチングを行ない、柱状部530を形成する。

【0150】(2) 続いて、柱状部530の周囲に絶縁層506を形成する。この絶縁層506は、第1の実施形態における絶縁層106と同様の工程にて形成することができる。この工程において得られる絶縁層506

は、第1の実施形態における絶縁層106と同様の構造を有する。すなわち、絶縁層506の上面506cが柱状部530の上面より高い位置に設置される。なお、この工程において、第2電極509をコンタクト層523の上に形成するために、絶縁層506をコンタクト層523の一部が露出するような形状に形成する。

【0151】(3) 次いで、例えば真空蒸着法により、第1および第2電極507、509を形成する。また、この工程において、柱状部530の上面に出射面508が形成される。なお、この工程においては、リフトオフ法を用いて所望の表面形状を得ることができる。あるいは、ドライエッチング法を用いて第1および第2電極507、509を形成してもよい。これらの電極を形成後、アニール処理を行ない、オーミックコンタクトを形成する。

【0152】(4) 次いで、出射面508上に蛍光体層512を形成する。蛍光体層512は、前述の第2の実施の形態の面発光型発光素子200の製造工程にて光学部材111を形成する方法と同様、インクジェット法により形成することができる。具体的には、蛍光体材料の微粒子を分散させた溶液を出射面508の上に吐出して、該溶液をバンク510の内側の領域に導入した後、溶媒を揮発させることにより蛍光体層512を形成する。なお、該溶媒の揮発は、溶媒の気化温度に応じた温度で行なう。

【0153】以上の工程により、図19および図20に示す面発光型発光素子500が得られる。

【0154】(作用および効果) 本実施の形態に係る面発光型発光素子500およびその製造方法は、以下に示す作用および効果を有する。

【0155】(1) 出射面508の上に蛍光体層512が形成されていることにより、発光素子部502によって生じる紫外光を励起光として蛍光体層512中の蛍光体材料が励起されて、所定波長の光が生じる。この結果、蛍光体層512中の蛍光体材料に依存した波長の光を蛍光体層512から外部へと出射させることができる。すなわち、素子500が駆動することによって生じる光とは異なる波長の光を出射させることができる。

【0156】(2) バンク510の上縁部510aが出射面508よりも高い位置に形成され、このバンク510の内側の領域に蛍光体層512が形成されているので、蛍光体層512を所定の位置に精度良く設置することができる。

【0157】さらに、バンク510の上面510bが出射面508よりも高い位置に設置されている。これにより、バンク510の内側の領域に、安定な状態で蛍光体層512を設置することができる。

【0158】(3) バンク510の上縁部510aが出射面508よりも高い位置に形成されていることにより、蛍光体層512を形成する際にアライメントが容易

で、かつ歩留まりを高めることができる。

【0159】(4) インクジェット法を用いて蛍光体層 512 を形成するための材料をバンク 110 の内側の領域に吐出させることによって、蛍光体層 512 を形成することにより、蛍光体層 512 が正確にアライメントされた面発光型発光素子 500 を、簡易かつ歩留まり良く形成することができる。

【0160】[第 6 の実施の形態] 図 21 は、本発明を適用した第 6 の実施の形態に係る光モジュールを模式的に説明する図である。本実施の形態に係る光モジュールは、構造体 1000 (図 21 参照) を含む。この構造体 1000 は、第 1 の実施の形態に係る面発光型発光素子 100 (図 1 参照)、プラットフォーム 1120、第 1 の光導波路 1130 およびアクチュエータ 1150 を有する。また、この構造体 1000 は、第 2 の光導波路 1302 を有する。第 2 の光導波路 1302 は、基板 1300 の一部をなす。第 2 の光導波路 1302 には、接続用光導波路 1304 を光学的に接続してもよい。接続用光導波路 1304 は、光ファイバであってもよい。また、プラットフォーム 1120 は、樹脂 1306 によって基板 1300 に固定されている。

【0161】本実施の形態の光モジュールでは、面発光型発光素子 100 (出射面 108・図 1 参照) から光が出射した後、第 1 および第 2 の光導波路 1130、1302 (および接続用光導波路 1304) を通して、受光素子 (図示せず) にこの光を受光させる。

【0162】[第 7 の実施の形態] 図 22 は、本発明を適用した第 7 の実施の形態に係る光伝達装置を説明する図である。本実施の形態では、第 1 の光導波路 1130 と受光素子 210 との間に、複数の第 3 の光導波路 1230、1310、1312 を有する。また、本実施の形態に係る光伝達装置は、複数 (2 つ) の基板 1314、1316 を有する。

【0163】本実施の形態では、面発光型発光素子 100 側の構成 (面発光型発光素子 100、プラットフォーム 1120、第 1 の光導波路 1130、第 2 の光導波路 1318、アクチュエータ 1150 を含む。) と、受光素子 210 側の構成 (受光素子 210、プラットフォーム 1220、第 3 の光導波路 1230、1310 を含む。) との間に、第 3 の光導波路 1312 が配置されている。第 3 の光導波路 1312 として、光ファイバなどを使用して、複数の電子機器間の光伝達を行なうことができる。

【0164】例えば、図 23 において、光伝達装置 1100 は、コンピュータ、ディスプレイ、記憶装置、プリンタ等の電子機器 1102 を相互に接続するものである。電子機器 1102 は、情報通信機器であってもよい。光伝達装置 1100 は、光ファイバ等の第 3 の光導波路 1312 を含むケーブル 1104 を有する。光伝達装置 1100 は、ケーブル 1104 の両端にプラグ 11

06 が設けられたものであってもよい。それぞれのプラグ 1106 内に、面発光型発光素子 100、受光素子 210 側の構成が設けられる。いずれかの電子機器 1102 から出力された電気信号は、発光素子によって光信号に変換され、光信号はケーブル 1104 を伝わり、受光素子によって電気信号に変換される。電気信号は、他の電子機器 1102 に入力される。こうして、本実施の形態に係る光伝達装置 1100 によれば、光信号によって、電子機器 1102 の情報伝達を行なうことができる。

【0165】図 24 は、本発明を適用した実施の形態に係る光伝達装置の使用形態を示す図である。光伝達装置 1112 は、電子機器 1110 間を接続する。電子機器 1110 として、液晶表示モニター又はデジタル対応の CRT (金融、通信販売、医療、教育の分野で使用されることがある。)、液晶プロジェクタ、プラズマディスプレイパネル (PDP)、デジタル TV、小売店のレジ (POS (Point of Sale Scanning) 用)、ビデオ、チューナー、ゲーム装置、プリンタ等が挙げられる。

【0166】なお、第 6 および第 7 の実施の形態 (図 21 ~ 図 24 参照) において、面発光型発光素子 100 のかわりに、面発光型発光素子 200 (図 10 参照)、300 (図 15 参照)、400 (図 18 参照)、500 (図 19 参照) を用いた場合でも、同様の作用および効果を奏することができる。

【0167】すなわち、本発明は、上述した実施の形態に限定されるものではなく、種々の変形が可能である。例えば、本発明は、実施の形態で説明した構成と実質的に同一の構成 (例えば、機能、方法および結果が同一の構成、あるいは目的および結果が同一の構成) を含む。また、本発明は、実施の形態で説明した構成の本質的でない部分を置き換えた構成を含む。また、本発明は、実施の形態で説明した構成と同一の作用効果を奏する構成又は同一の目的を達成することができる構成を含む。また、本発明は、実施の形態で説明した構成に公知技術を付加した構成を含む。

【0168】例えば、上記実施の形態では、柱状部を一つ有する面発光型発光素子について説明したが、基板面内で柱状部が複数個設けられていても本発明の形態は損なわれない。また、複数の面発光型発光素子がアレイ化されている場合でも、同様の作用および効果を有する。

【0169】また、例えば、上記実施の形態において、各半導体層における p 型と n 型とを入れ替えても本発明の趣旨を逸脱するものではない。上記実施の形態では、AlGaAs 系のものについて説明したが、発振波長に応じてその他の材料系、例えば、GaInP 系、ZnS-Se 系、InGaN 系、AlGaN 系、InGaAs 系、GaInNAs 系、GaAsSb 系の半導体材料を用いることも可能である。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明を適用した第 1 の実施の形態に係る面発光型発光素子を模式的に示す断面図である。

【図 2】本発明を適用した第 1 の実施の形態に係る面発光型発光素子を模式的に示す平面図である。

【図 3】図 1 および図 2 に示す面発光型発光素子の一製造工程を模式的に示す断面図である。

【図 4】図 1 および図 2 に示す面発光型発光素子の一製造工程を模式的に示す断面図である。

【図 5】図 1 および図 2 に示す面発光型発光素子の一製造工程を模式的に示す断面図である。

【図 6】図 1 および図 2 に示す面発光型発光素子の一製造工程を模式的に示す断面図である。

【図 7】図 1 および図 2 に示す面発光型発光素子の一製造工程を模式的に示す断面図である。

【図 8】図 1 および図 2 に示す面発光型発光素子の一製造工程を模式的に示す断面図である。

【図 9】図 1 および図 2 に示す面発光型発光素子の一製造工程を模式的に示す断面図である。

【図 10】本発明を適用した第 2 の実施の形態に係る面発光型発光素子を模式的に示す断面図である。

【図 11】本発明を適用した第 2 の実施の形態に係る面発光型発光素子を模式的に示す平面図である。

【図 12】図 10 および図 11 に示す面発光型発光素子の一製造工程を模式的に示す断面図である。

【図 13】図 10 および図 11 に示す面発光型発光素子の一製造工程を模式的に示す断面図である。

【図 14】図 10 および図 11 に示す面発光型発光素子の一製造工程を模式的に示す断面図である。

【図 15】本発明を適用した第 3 の実施の形態に係る面発光型発光素子を模式的に示す平面図である。

【図 16】図 15 に示す面発光型発光素子の一製造工程を模式的に示す断面図である。

【図 17】図 15 に示す面発光型発光素子の一製造工程を模式的に示す断面図である。

【図 18】本発明を適用した第 4 の実施の形態に係る面発光型発光素子を模式的に示す断面図である。

【図 19】本発明を適用した第 5 の実施の形態に係る面発光型発光素子を模式的に示す断面図である。

【図 20】本発明を適用した第 5 の実施の形態に係る面発光型発光素子を模式的に示す平面図である。

【図 21】本発明を適用した第 6 の実施の形態に係る光モジュールを模式的に示す図である。

【図 22】本発明を適用した第 7 の実施の形態に係る光伝達装置を示す図である。

【図 23】本発明を適用した第 7 の実施の形態に係る光伝達装置を示す図である。

【図 24】本発明を適用した第 7 の実施の形態に係る光伝達装置の使用形態を示す図である。

【符号の説明】

100, 200, 300, 400, 500 面発光型発光素子

101 半導体基板

101a 半導体基板の表面

102 下部ミラー

103, 303, 525 活性層

104 上部ミラー

105 酸化狭窄層

106, 506 絶縁層

106a 樹脂前駆体層

106b 半硬化樹脂層

106c, 506c 絶縁層の上層

107, 507 第 1 電極

108, 308, 408, 508 出射面

109, 509 第 2 電極

110, 310, 410, 510 パンク

110a, 310a, 410a, 510a パンクの上縁部

110b, 310b, 410b, 510b パンクの上層

111, 311, 411 レンズ

111a レンズ材

112 ノズル

113 エネルギー線

120 インクジェットヘッド

130, 530 柱状部

140 共振器

150 半導体多層膜

210 受光素子

221 凹部

321 第 1 凹部

421 第 2 凹部

430 光路調整層

501 サファイア基板

501a サファイア基板の表面

502 発光素子部

522 パッファ層

523 コンタクト層

524 クラッド層

526 クラッド層

527 コンタクト層

512 蛍光体層

1000 構造体

1100, 1112 光伝達装置

1110, 1102 電子機器

1104 ケーブル

1106 プラグ

1120, 1220 プラットフォーム

1130 第 1 の光導波路

50 1150 アクチュエータ

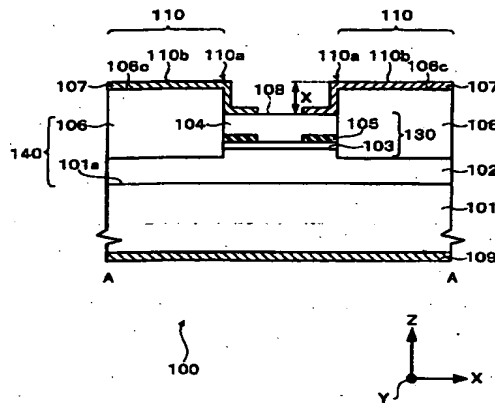
29

30

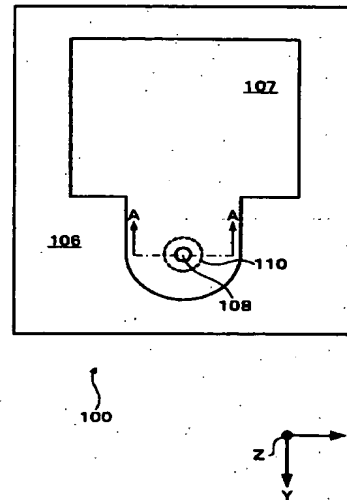
1152 クッション
 1154 エネルギー供給源
 1230, 1310, 1312 第3の光導波路
 1300 基板
 1302, 1318 第2の光導波路

1304 接続用光導波路
 1306 樹脂
 1314, 1316 基板
 R100, R200 レジスト

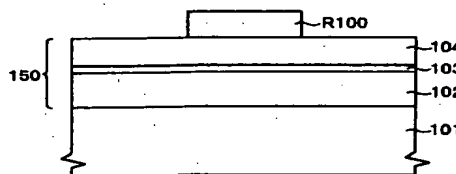
【図1】



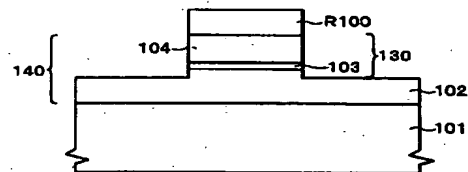
【図2】



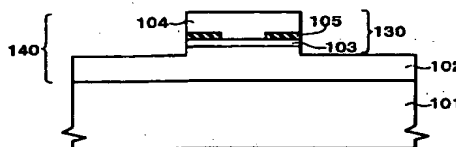
【図3】



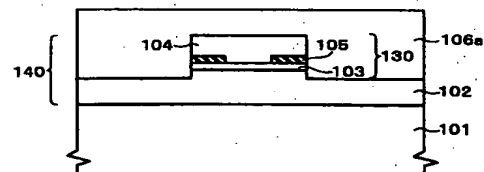
【図4】



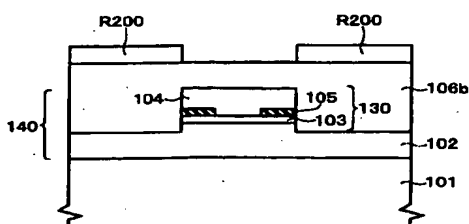
【図5】



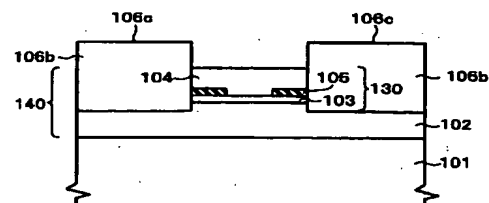
【図6】



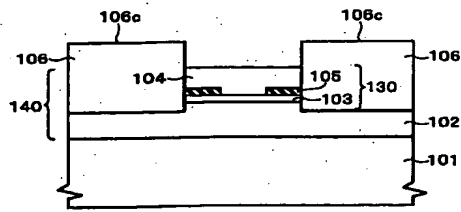
【図7】



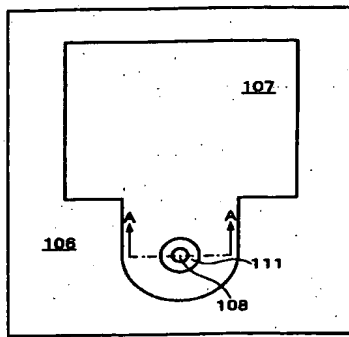
【図8】



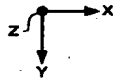
【図 9】



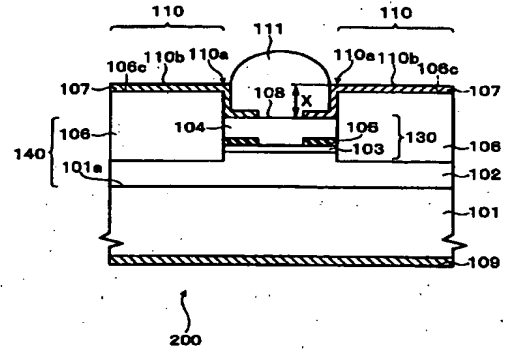
【図 11】



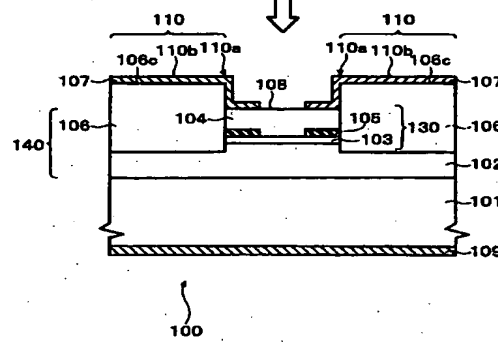
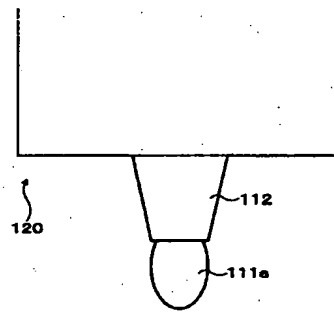
200



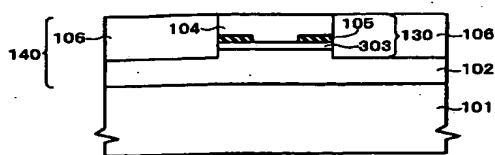
【図 10】



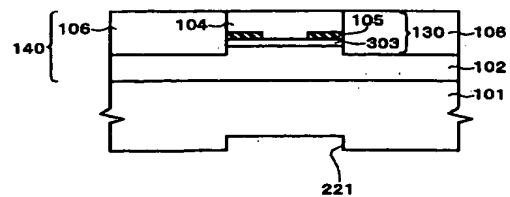
【図 12】



【図 16】

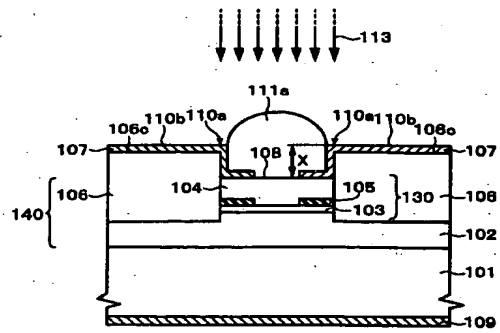


【図 17】

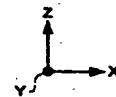
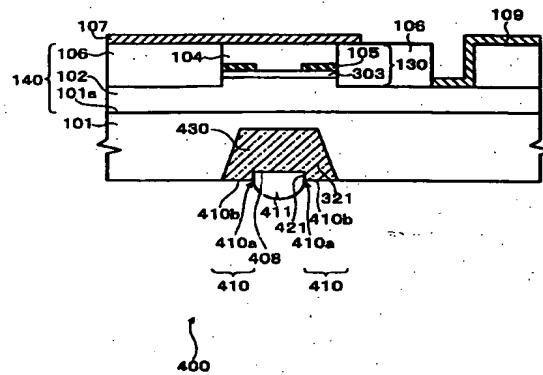


221

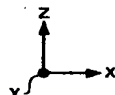
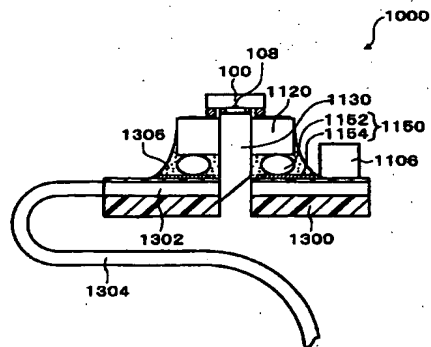
【図 14】



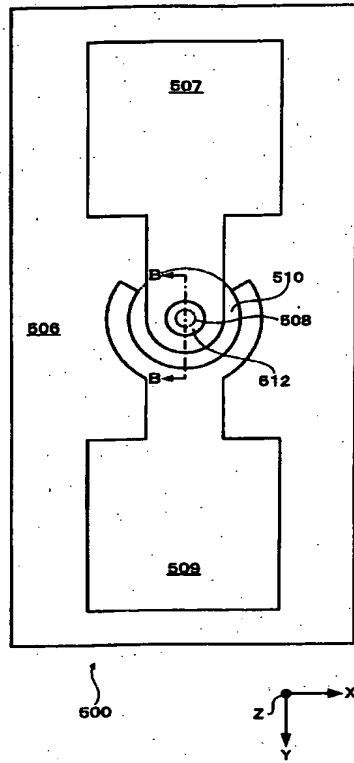
【図 18】



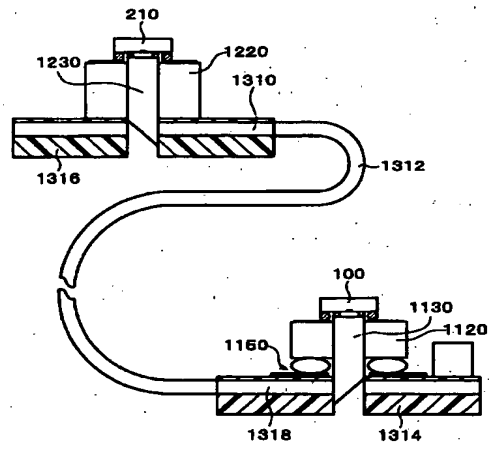
【図 2 1】



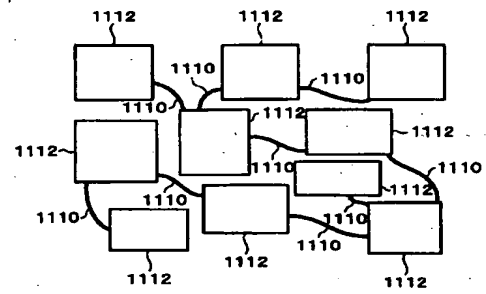
【図 20】



【図 22】



【図 24】



【図 23】

